

JP7263786

Title:
MODE SYNCHRONISM LASER DEVICE

Abstract:

PURPOSE:To improve stability of operation to change of resonator optical path length in a mode synchronism laser device. **CONSTITUTION:**In a mode synchronism laser device wherein a light modulator 2 and a light amplifier 3 are provided inside a resonator, an optical delay unit 8 is provided inside a resonator and an optical path length of the optical delay unit 8 is controlled to minimize electric power of a side band frequency element by converting a part of resonance output light to an electric signal by a light electric converter 10.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-263786

(43) 公開日 平成7年(1995)10月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/136

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平6-52170

(22) 出願日 平成6年(1994)3月23日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 高良 秀彦

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72) 発明者 川西 悟基

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72) 発明者 猿渡 正俊

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

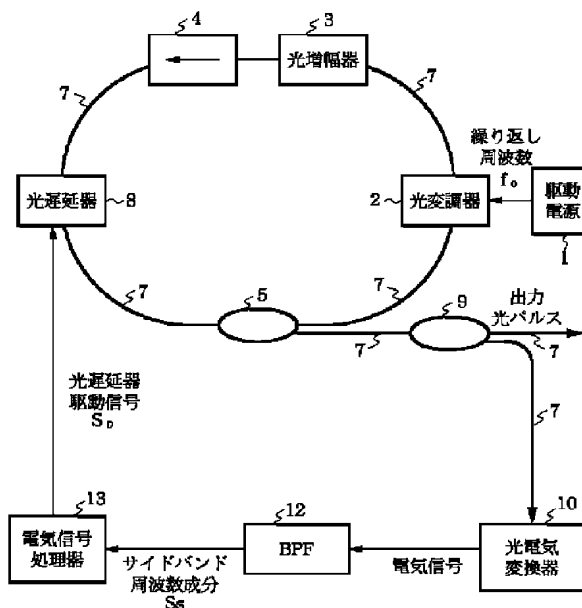
(74) 代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

(54) 【発明の名称】 モード同期レーザ装置

(57) 【要約】

【目的】 モード同期レーザ装置における共振器光路長の変化に対する動作の安定性を高める。

【構成】 共振器内に光変調器2および光増幅器3が設けられたモード同期レーザ装置において、共振器内に光遅延器8を設け、共振出力光の一部を光電気変換器10により電気信号に変換して、そのサイドバンド周波数成分の電力が最小となるように光遅延器8の光路長を制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光の損失あるいは位相をあらかじめ定められた周波数で変調する光変調器と、

この光変調器により変調された光を増幅する光増幅器と、

この光増幅器と前記光変調器とを光学的に結合して共振器を形成する光学手段と、

この共振器から出力光を取り出す出力手段とを備えたモード同期レーザ装置において、

前記共振器内には電氣的に光路長が可変の光遅延器が設けられ、

前記出力手段により取り出された出力光の一部を分岐して電気信号に変換する手段と、

変換された電気信号から前記出力光のパルス繰り返し周波数の整数倍以外の共振器縦モード周波数間隔の整数倍の周波数成分の少なくともひとつを取り出すバンドパスフィルタと、

このバンドパスフィルタにより取り出された周波数成分の電力が最小となるように前記光遅延器の光路長を制御する処理手段とを備えたことを特徴とするモード同期レーザ装置。

【請求項2】 前記光学手段は前記光変調器、前記光増幅器、前記出力手段および前記光遅延器をリング状に接続する光導波路を含む請求項1記載のモード同期レーザ装置。

【請求項3】 前記光学手段および前記出力手段は前記光変調器、前記光増幅器および前記光遅延器を挟んで配置された二つの光反射器を含む請求項1記載のモード同期レーザ装置。

【請求項4】 前記共振器内に透過波長が可変の光学フィルタを備えた請求項1記載のモード同期レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光通信あるいは光計測に利用される超短光パルスの発生に関する。特に、そのような超短光パルスを発生するモード同期レーザ装置の動作の安定化に関する。

【0002】

【従来の技術】 モード同期レーザは、10GHz以上の高い繰り返し周期での光パルス列の発生が可能、数ピコ秒以下のパルス幅の超短光パルスの発生が可能、発振波長が広帯域で可変、長距離伝送に適したトランスフォーマリミット光パルス（時間バンド幅が最小となる光パルス）を容易に発生できる、などの利点があり、これまで大容量かつ長距離の光通信や光計測などの分野への適用を目指して活発に研究開発が進められている。

【0003】 図17は従来例のリング共振器型モード同期レーザ装置を示すブロック構成図である。この従来例は、駆動電源1、この駆動電源1により駆動されて光の損失あるいは位相を所定の周波数で変調させる光変調器

2、変調された光パルスを増幅する光増幅器3、光パルスの進行方向を規定し反射戻り光を遮断する光アイソレータ4、増幅された光パルスを外部に取り出す光結合器5、およびこれらの各構成要素を光学的に結合する光導波路7を備える。また、共振器内に波長可変光学フィルタ6が配置されることもある。

【0004】 光変調器2としては、主に、LiNbO₃などの電気光学効果を利用したものが用いられる。光増幅器3としては、主に、ErあるいはNdなどの希土類が添加された希土類ドープ光ファイバ増幅器または半導体レーザ増幅器が用いられる。波長可変光学フィルタ6としては、主に、誘電体多層膜フィルタを用いて光の入射角度により透過中心波長を変えるものが用いられる。光導波路7としては主に光ファイバが用いられる。

【0005】 図18ないし図20は希土類ドープ光ファイバ増幅器の構成例を示す。希土類ドープ光ファイバ増幅器は、希土類ドープ光ファイバ31と、この希土類ドープ光ファイバ31を励起する励起光源32と、この励起光源32からの励起光と光パルスとを合波または分波する波長合成分波器33と備える。図18は後方励起の場合の構成を示し、励起光は光パルスと逆方向に希土類ドープ光ファイバ31に入射される。図19は前方励起の場合の構成を示し、励起光は光パルスと合波されて希土類ドープ光ファイバ31に入射される。図20は双方向励起の場合の構成を示し、希土類ドープ光ファイバ31の両側から励起光が入射される。

【0006】 図21は光増幅器3として半導体レーザ増幅器を用いる場合の構成例を示す。半導体レーザ増幅器34は、励起電流源35により励起され、光パルスを増幅する。

【0007】 次に、図22および図23を参照して従来のモード同期レーザ装置の動作原理について説明する。図22はモード同期で得られる代表的なスペクトル特性を表し、図23はその時間特性を示す。図17に示したように、光変調器2、光増幅器3および光結合器5が光導波路7を介してリング状に結合され、リング共振器が構成される。各構成要素の光路長はその要素の物理長 h_i と屈折率 n_i とを乗算した値となり、リング共振器の光路長 L はそれの和、すなわち、

$$L = \sum h_i n_i \quad \dots (1)$$

となる。さて、リング共振器では、基準共振周波数 $f_r = c/L$ （ c は光速）で与えられる周波数間隔をもつ多数の縦モードが存在する。ここで、リング共振器内の光変調器2により、

$$f_m = N \cdot f_r \quad (N \text{ は } 1 \text{ 以上の整数}) \quad \dots (2)$$

なる繰り返し周波数の光変調を加えると、図22に示すように、周波数間隔 $N \cdot f_r$ のすべての縦モードの位相が揃うモード同期発振状態となり、図23に示すように繰り返し周期 $1/(N \cdot f_r)$ の光パルス列が得られる。この(2)式がモード同期条件である。

【0008】なお、パルス幅は多数の縦モードスペクトルの包絡線で定まる発振スペクトル幅 $\Delta\nu$ の逆数に対応し、このスペクトル包絡線の中心が中心波長（周波数 ν_0 ）となる。また、共振器内に波長可変光学フィルタ6を設け、透過波長を変化させることにより発振中心波長を変化させることができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、モード同期レーザ装置では、温度変化その他による共振器光路長の変化が起きると、縦モード周波数間隔 f_v が変化してしまう。このため、(2)式のモード同期条件を満たすには、縦モード周波数間隔 f_v の変化に応じてモード同期の繰り返し周波数 f_0 を変化させる必要があった。また、波長可変光学フィルタ6により発振中心波長を変化させると、波長分散により各構成要素の屈折率 n_i が変化するため、(1)式的光路長 L および基本共振周波数 f_0 が変化し、(2)式のモード同期条件が成り立たなくなるという問題があった。

【0010】このような問題を解決するためのひとつの方法として、温度変化や発振波長の変化に対してモード同期条件を達成するために、変調周波数 f_m を光路長変化に合わせて変化させることが考えられる。しかし、一般に上述の応用例では変調周波数 f_m は固定であるため、実用的ではない。

【0011】本発明は、このような課題を解決し、共振器光路長の変化に対する動作の安定性を高めたモード同期レーザ装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明のモード同期レーザ装置は、共振器内に電氣的に光路長が可変の光遅延器を設け、共振器から取り出された出力光の一部を分岐して電気信号に変換する手段と、変換された電気信号から出力光のパルス繰り返し周波数の整数倍以外の共振器縦モード周波数間隔の整数倍の周波数（サイドバンド周波数）成分の少なくともひとつを取り出すバンドパスフィルタと、このバンドパスフィルタにより取り出された周波数成分の電力が最小となるように光遅延器の光路長を制御する処理手段とを備えたことを特徴とする。

【0013】共振器としては、リング共振器を用いてもよく、ファブリペロ共振器を用いてもよい。共振器内に透過波長が可変の光学フィルタを備えることもできる。

【0014】

【作用】モード同期レーザ出力光から変換した電気信号のサイドバンド周波数成分の電力が最小になるように、共振器内の光遅延器にフィードバックする。これにより、レーザ共振器光路長の変化を防ぎ、安定したモード同期動作を実現することがてきる。

【0015】また、共振器内に透過波長が可変の光学フィルタを設け、発振波長を変化させることもできる。この場合、発振波長が変化したときにはモード同期条件が

らのずれが生じるが、モード同期条件のずれをサイドバンド周波数成分の電力により検出して共振器長を調整することにより、共振器全体の光路長の変化を修正して新たなモード同期条件に設定することができる。

【0016】

【実施例】図1は本発明第一実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図である。この実施例は本発明をリング共振型モード同期レーザに実施したものであり、光の損失あるいは位相をあらかじめ定められた周波数で変調する光変調器2と、この光変調器2により変調された光を増幅する光増幅器3と、この光増幅器3と光変調器2とを光学的に結合して共振器を形成する光学手段としての光導波路7と、この共振器から出力光を取り出す出力手段としての光結合器5とを備える。光導波路7は、光変調器2、光増幅器3および光結合器5をリング状に接続してリング共振器を構成する。光変調器2には駆動電源1が接続される。ここで本実施例の特徴とするところは、共振器内には電氣的に光路長が可変の光遅延器8が設けられ、光結合器5により取り出された出力光の一部を分岐して電気信号に変換する手段として光分岐器9および光電気変換器10を備え、変換された電気信号から出力光のパルス繰り返し周波数の整数倍以外の共振器縦モード周波数間隔の整数倍の周波数成分すなわちサイドバンド周波数成分の少なくともひとつを取り出すバンドパスフィルタ12を備え、このバンドパスフィルタ12により取り出された周波数成分の電力が最小となるように光遅延器8の光路長を制御する処理手段としての電気信号処理器13を備えたことにある。

【0017】光導波路7としては、従来例として説明した光ファイバの他に、平面基板状にチャネル型導波路を形成したもの、例えばM.Kawachi et al., "Silica waveguide on silicon and their application to integrated-optical components", Opt. & Quantum Electron., 209 0, 23, pp. 391-417 に示されたプレーナ光波回路を使用することもできる。

【0018】図2ないし図4はモード同期レーザ装置の出力光の電力スペクトルを示す。図2は(2)式に示したモード同期条件を完全に満たしている場合、図3は共振器長が変化してモード同期条件からずれた場合、図4はバンドパスフィルタ12により切り出したサイドバンド周波数成分をそれぞれ示す。これらの図を参照して動作の安定化原理について説明する。

【0019】光結合器5により共振器外に取り出された光パルスの一部を光分岐器9で分岐し、光電気変換器10により電気信号に変換する。このとき、電気信号の電力スペクトルには、駆動条件がモード同期条件すなわち(2)式を完全に満たしているとき、図2に示したようにモード同期周波数 f_0 （＝変調周波数）の輝線スペクトルが得られる。また、この図では省略したが、モード同期周波数 f_0 の整数倍の周波数成分（ $2f_0$ 、 3

f_s, \dots) も存在する。

【0020】ところが、共振器長が変化してモード条件からずれて動作が不安定になると、電力スペクトルには、図3に示すように、モード同期周波数 f_s のまわりに、レーザ共振器の縦モード周波数間隔 f_r に相当する周期でサイドバンドが発生する。このとき、サイドバンド周波数成分電力 P_s は、モード同期条件からのずれ（共振器光路長変化）に対して敏感に変化する。例えば共振器光路長が数10mのモード同期レーザの動作安定化における光路長変化の許容範囲は $\pm 10 \mu\text{m}$ 程度であるが、数 μm 程度の光路長変化に対して、サイドバンド周波数成分電力 P_s は30dB以上変化する。そこで、少なくともひとつのサイドバンド周波数成分 S_s をバンドパスフィルタ12により切り出し、その変化量 ΔP_s を誤差信号として用いることにより、感度の良い制御でモード同期動作の安定化を図ることができる。

【0021】バンドパスフィルタ12で抽出するサイドバンド周波数成分は任意のものを選択することができる。また、選択するサイドバンド周波数成分 S_s はひとつに限定されるものではなく、バンドパスフィルタ12に広帯域のものを用いて複数のサブバンド周波数成分を取り出すこともできる。この場合、モード同期周波数 f_s およびその高周波成分を十分に除去できる範囲で広帯域のものを用いれば、サイドバンド周波数成分電力 P_s を大きくでき、感度の良い検出が可能となる。

【0022】図5および図6は光遅延器8の具体例を示す図であり、二つの光導波路のレンズ系による結合を利用した構成例を示す。二つの光導波路7の間にはその間を光学的に結合する二つの光学レンズ81、82を備える。図5に示した例では、入射側の光導波路7、光学レンズ81、82および出射側の光導波路7を直線上に配置し、入射側および出射側の光学レンズ81または82（この例では82）と対応する光導波路7とを同一の電動ステージ83上に固定し、この電動ステージ83を駆動電源84からの駆動信号により光線方向に沿って移動させる。これにより、二つの光導波路7間の光路長を変化させることができる。図6に示した例では、入射側の光導波路7および光学レンズ81と出射側の光導波路7および光学レンズ82とを平行に配置し、三角プリズムその他を用いた直角ミラー85により光学的に結合する。この直角ミラー85を電動ステージ83上に固定し、光線方向に沿って移動させることにより光路長を調節する。電動ステージ83としては、入力電気パルスの極性で進行方向が変化し、入力電気パルスで移動量が決定されるパルスステージを用いることができる。パルスステージを用いた場合の動作例を図7に示す。

【0023】図8は光遅延器8の別の例を示す斜視図であり、張力により光導波路を伸長させて光路長を変化させる構成例を示す。すなわち、光ファイバその他の比較的長尺の光導波路7をピエゾ素子で作られたドラム86

に巻き付け、ドラム86の径を駆動電源84からの電圧により変化させることで、光導波路7への張力を変化させて光路長を変化させる。

【0024】図9および図10は光遅延器8のさらに別の構成例を示す図であり、図9は斜視図、図10は光線方向を横切る面の断面図である。この構成例では、光導波路の屈折率を電氣的に変化させて光路長を変化させる。すなわち、基板87上には電氣的に屈折率が変わる光導波路88が形成され、その両側には電極89が設けられる。二つの電極89間に電圧 V を印加すると、光導波路88中に電界 E が発生し、屈折率が変化して光路長が変化する。この電氣的に屈折率が変化する光導波路88としては、電気光学効果を有する LiNbO_3 などの強誘電体を用いることができる。

【0025】図11は図8あるいは図9、10に示した光遅延器8の動作例を示す。この場合には、移動量が入力電気信号の絶対値により決定される。

【0026】以上のように電気信号により光路長を変化させることのできる光遅延器8を用いることで、電気信号処理器13からの駆動信号 S_d をレーザの共振器長にフィードバックすることが可能となる。

【0027】図12は光遅延器8を駆動する電気信号処理器13の動作を説明する図である。電気信号処理器13の動作アルゴリズムは用いる光遅延器8によって異なる。まず光遅延器8として図5または図6に示した構成を用いた場合の動作について説明し、次に、図8または図9、10に示した構成を用いた場合の動作について説明する。

【0028】光遅延器8として図5または図6に示した構成を用いる場合には、初めに、駆動信号 S_d （パルス信号数）を変化させて共振器光路長をある範囲にわたり掃引し、そのときに変化するサイドバンド周波数成分電力 P_s を測定する。この光路長の掃引範囲は、温度変化その他により生じるモード同期条件からの光路長のずれとして予想される最大値より十分に大きくとる。図12はこの掃引によって得られたサイドバンド周波数成分電力 P_s と光路長 L との関係を示す。サイドバンド周波数成分電力 P_s が最小値となる光路長 L_0 およびそのときの駆動信号値 S_{d0} を検出したなら、この駆動信号値 S_{d0} を光遅延器8へ入力して光路長の初期値を L_0 に設定する。図5または図6に示した構成の光遅延器8は信号を切っても光遅延量をそのまま維持する構造であるため、その後はサイドバンド周波数成分電力 P_s が変化するまで駆動信号 S_d の値は零でよい。

【0029】温度変化その他により光路長が変化し、サイドバンド周波数成分電力 P_s があらかじめ設定した電力制限値 P_{lim} （動作状態が用途に対して安定とみなせる電力 P_s の上限より低い値）を越えた場合には、まず光遅延器駆動信号 $S_{d0} = +\Delta S_d$ を光遅延器8へ入力して電力 P_s の変化をみる。電力 P_s が減少すれば、そ

の電力 P_s が電力制限値 P_{limit} 以下になるまで $+\Delta S_D$ のを入力を繰り返す。 $P_s \leq P_{limit}$ となった時点で、光遅延器駆動信号 S_D の値を零に戻す。逆に、光遅延器駆動信号 $S_D = +\Delta S_D$ を光遅延器8に入力して電力 P_s が増加した場合には、光遅延器駆動信号の符号を反転させて $-\Delta S_D$ とし、電力 P_s を減少させる。これを繰り返し、 $P_s \leq P_{limit}$ となった時点で光遅延器駆動信号 S_D を零に戻す。これにより、共振器の光路長変化を抑圧することができ、動作の安定化を図ることができる。

【0030】光遅延器8として図8または図9、10に示した構成を用いる場合には、図5または図6に示した構成を用いる場合と同様に、初めに共振器光路長を掃引し、サイドバンド周波数成分電力 P_s が最小値となる駆動信号値 S_D' を検出し、光路長の初期値 L_0 を設定する。ただし、この場合には光遅延量が駆動信号の絶対値で決定されるため、光遅延量をそのまま維持するには駆動信号値 S_D' をそのまま維持しなければならない。

【0031】温度変化その他により光路長が変化してサイドバンド周波数成分電力 P_s が電力制限値 P_{limit} を越えた場合には、光遅延器駆動信号 S_D を S_D' から $S_D' + \Delta S_D$ に変化させ、電力 P_s の変化を見る。電力 P_s が減少すればさらに光遅延器駆動信号 S_D の値を増加させ、これを電力 P_s が電力制限値 P_{limit} 以下になるまで繰り返す。 $P_s \leq P_{limit}$ となった時点で光遅延器駆動信号 S_D の増加を止める。逆に、電力 P_s が増加した場合は光遅延器駆動信号を $S_D' - \Delta S_D$ に変化させ、同様にして $P_s \leq P_{limit}$ となるまで光遅延器駆動信号 S_D を減少させる。これにより、共振器の光路長変化を抑圧することができ、動作を安定化することができる。

【0032】図13は電気信号処理器13の具体的な構成例を示すブロック図である。この電気信号処理器13は、アナログ信号用の低周波数透過フィルタ131、アナログ・デジタル変換器132、およびマイクロコンピュータその他を用いた計算機133を備え、場合によってはさらにデジタル・アナログ変換器134を備える。低周波数透過フィルタ131は、サイドバンド周波数成分 S_s から共振器光路長の変化成分を取り出す。ここで、低周波数透過フィルタ131の帯域を、温度その他の共振器光路長変化の要因に対する変動周波数成分を含み、かつできるだけ狭く設定しておく。これにより、高周波数領域の雑音成分を除去することができる。次に、アナログ信号であるサイドバンド周波数成分 S_s をアナログ・デジタル変換器132でデジタル信号に変換する。そして、計算機133により、上述のアルゴリズムにしたがって制御信号（極性、パルス数またはレベル）を決定する。光遅延器8として図5または図6に示したようなデジタル信号駆動のものを用いる場合には、計算機133から直接に、光遅延器8に光遅延器駆

動信号 S_D を供給する。一方、図8または図9、10に示したようなアナログ信号駆動のものを用いる場合には、デジタル・アナログ変換器134を用いて光遅延器駆動信号 S_D を生成する。

【0033】ここでは低周波数透過フィルタ131をアナログ・デジタル変換器132の前段に配置した例を示したが、出力側にデジタル・アナログ変換器134を用いる場合にはその出力段に配置することもできる。また、低周波数透過フィルタ131としてデジタルフィルタを用いる場合には、アナログ・デジタル変換器132または計算機133の後段に配置してもよい。

【0034】以上説明したように、本実施例では、光電気変換器10からの電気信号からバンドパスフィルタ12によりサイドバンド周波数成分 S_s を抽出し、その電力すなわちサイドバンド周波数成分電力 P_s が最小となるように、電気信号処理器13が共振器内に設置された光遅延器8へ駆動信号 S_D をフィードバックする。これにより共振器の光路長が一定に維持され、安定なモード同期レーザ動作を実現することができる。

【0035】図14は本発明第二実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図である。この実施例は本発明をファブリペロ共振型モード同期レーザに実施したものであり、光変調器2、光増幅器3および光遅延器8を挟んで配置された二つの光反射器27を備えたことが第一実施例と異なる。光反射器27は、入射光の大部分を反射するが、一部を出力光として透過する。この実施例の動作は第一実施例と同等である。

【0036】図16は本発明第三実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図である。この実施例は、共振器内に波長可変光学フィルタ6を設けたことが第一実施例と異なる。この波長可変光学フィルタ6は、光増幅器3の利得帯域幅内で透過中心波長を変化させることができる。このような波長可変光学フィルタ6としては、従来の誘電体多層膜フィルタの他に、例えば平林他「600チャンネル選択可能な液晶可変波長フィルタ」、1992年電子情報通信学会秋期大会講演論文集、C-246に示されたような液晶を用いたエタロン型波長可変光学フィルタを使用することもできる。

【0037】上述したように、波長可変光学フィルタ6により共振器の発振波長を変化させると、屈折率の波長分散により共振器の光路長 $L = \sum h_i n_i$ が変化する。そのため基準共振周波数 $f_r = c/L$ が変化し、(2)式のモード同期条件 $f_0 = N \cdot f_r$ (N は1以上の整数)が成り立たなくなる。しかし、波長可変光学フィルタ6による波長変化がフィードバック系の応答時間より十分にゆっくりであれば、モード同期条件のずれをサイドバンド周波数成分電力 P_s により検出し、光遅延器8の物理的な長さを調整することにより、共振器全体の光路長の変化を修正することができる。したがって、レーザの発振波長が変化しても、モード同期周波数(=変調

周波数)を変化する必要なしにモード同期条件を自動的に達成することができる。

【0038】図17は本発明第四実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図である。この実施例は共振器内に波長可変光学フィルタ6を設けたことが第二実施例と異なり、その動作は第三実施例と同等である。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のモード同期レーザ装置は、出力光から変換した電気信号のサイドバンド周波数成分の電力が最小となるように共振器内の光遅延器にフィードバックすることで、温度変化その他に起因する共振器長の変化に対する動作の安定化を実現することができる。また、レーザの発振波長を変化する場合にも自動的にモード同期条件を達成できるので、モード同期周波数が一定で動作が安定となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明第一実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図。

【図2】モード同期条件が完全に満たされている場合の電力スペクトルを示す図。

【図3】モード同期条件からずれた場合の電力スペクトルを示す図。

【図4】バンドパスフィルタにより切り出したサイドバンド周波数成分の電力スペクトルを示す図。

【図5】光遅延器の具体例を示す図。

【図6】光遅延器の別の具体例を示す図。

【図7】パルスステージを用いた場合の動作例を示す図。

【図8】光遅延器の別の例を示す斜視図。

【図9】光遅延器のさらに別の例を示す斜視図。

【図10】図9に示した光遅延器の断面図。

【図11】動作例を示す図。

【図12】サイドバンド周波数成分電力P_sと光路長Lとの関係を示す図。

【図13】電気信号処理回路の具体的な構成例を示すブロック図。

【図14】本発明第二実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図。

【図15】本発明第三実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図。

【図16】本発明第四実施例のモード同期レーザ装置を示すブロック構成図。

【図17】従来例のリング共振器型モード同期レーザ装置を示すブロック構成図。

【図18】希土類ドープ光ファイバ増幅器の構成例を示すブロック図であり、後方励起の場合の構成を示す図。

【図19】希土類ドープ光ファイバ増幅器の構成例を示すブロック図であり、前方励起の場合の構成を示す図。

【図20】希土類ドープ光ファイバ増幅器の構成例を示すブロック図であり、双方向励起の場合の構成を示す図。

【図21】光増幅器として半導体レーザ増幅器を用いる場合の構成例を示すブロック図。

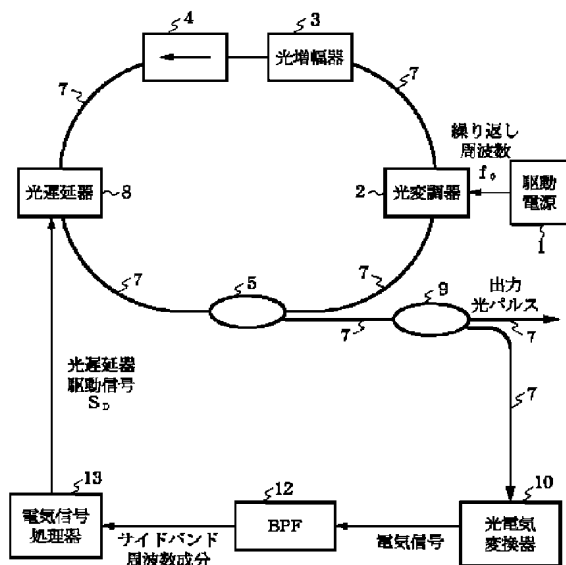
【図22】従来のモード同期レーザ装置の動作原理を説明する図であり、モード同期で得られる代表的なスペクトル特性を示す図。

【図23】従来のモード同期レーザ装置の動作原理を説明する図であり、出力の時間特性を示す図。

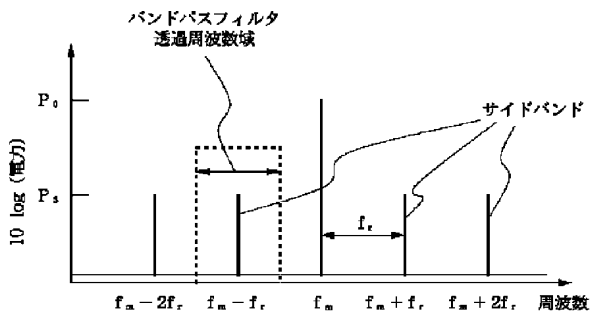
【符号の説明】

- 1 駆動電源
- 2 光変調器
- 3 光増幅器
- 4 光アイソレータ
- 5 光結合器
- 6 波長可変光学フィルタ
- 7 光導波路
- 8 光遅延器
- 9 光分岐器
- 10 光電気変換器
- 12 バンドパスフィルタ
- 13 電気信号処理器
- 31 希土類ドープ光ファイバ
- 32 励起光源
- 33 波長合分波器
- 34 半導体レーザ増幅器
- 35 励起電流源
- 81、82 光学レンズ
- 83 電動ステージ
- 84 駆動電源
- 85 直角ミラー
- 86 ドラム
- 87 基板
- 88 光導波路
- 89 電極
- 131 低周波数透過フィルタ
- 132 アナログ・デジタル変換器
- 133 計算機
- 134 デジタル・アナログ変換器

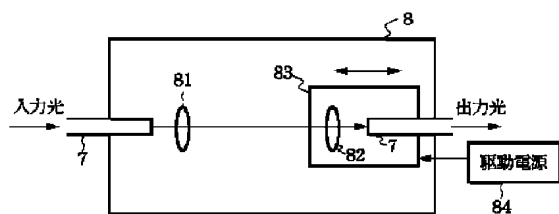
【図1】



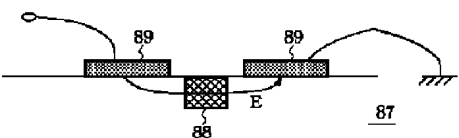
【図3】



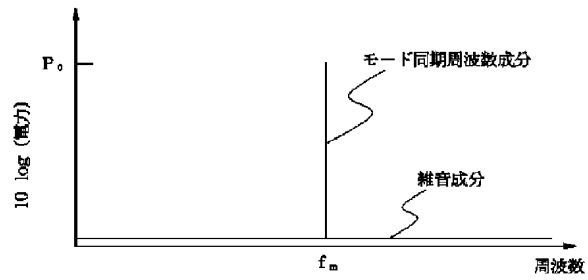
【図5】



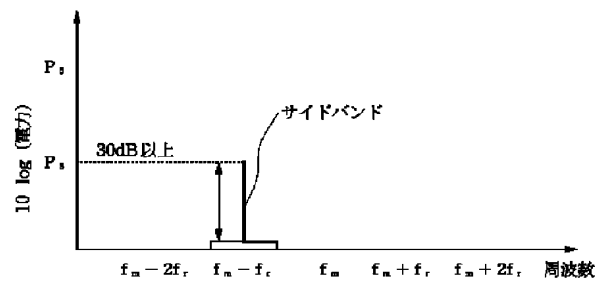
【図10】



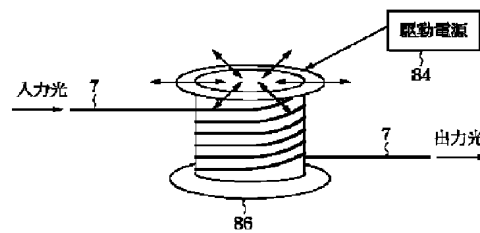
【図2】



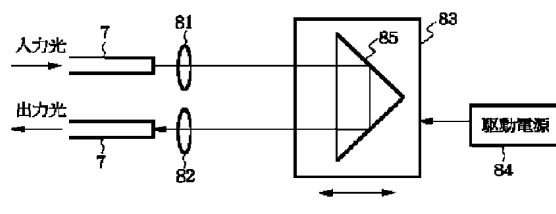
【図4】



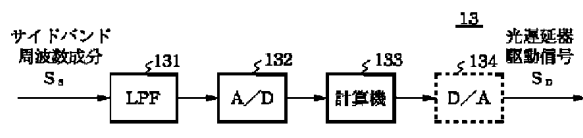
【図8】



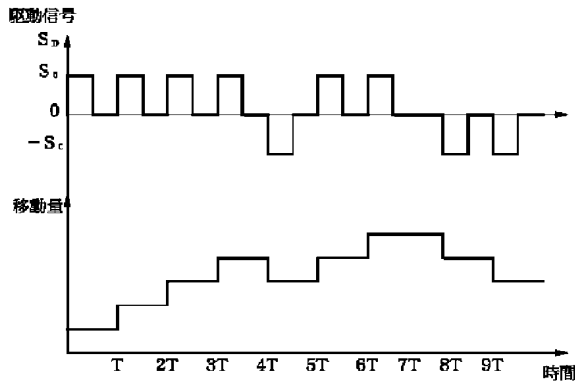
【図6】



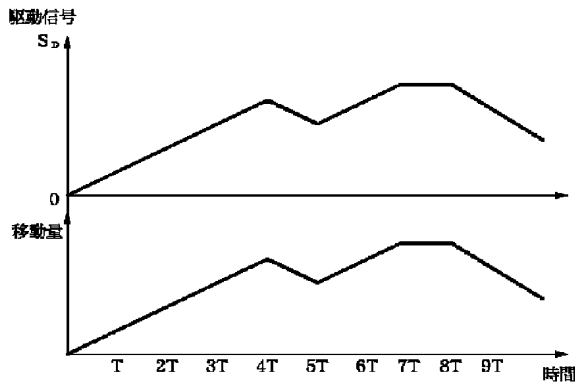
【図13】



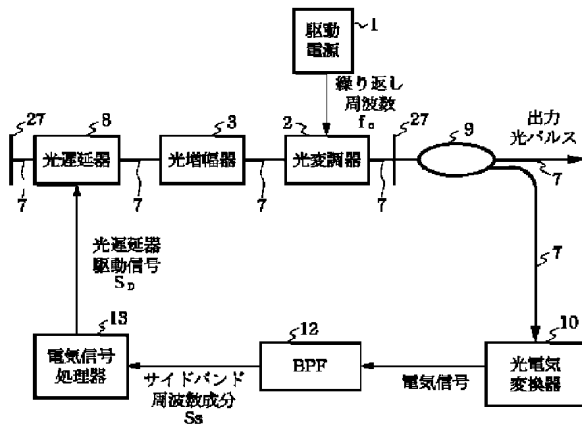
【図7】



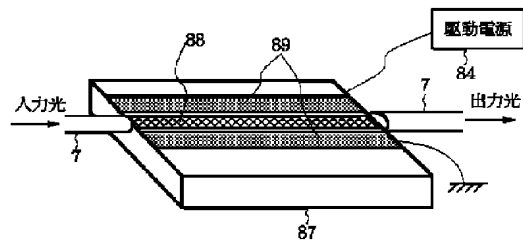
【図11】



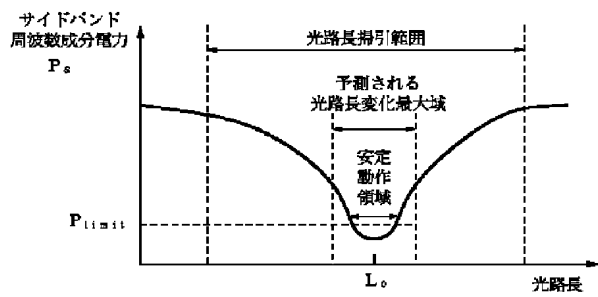
【図14】



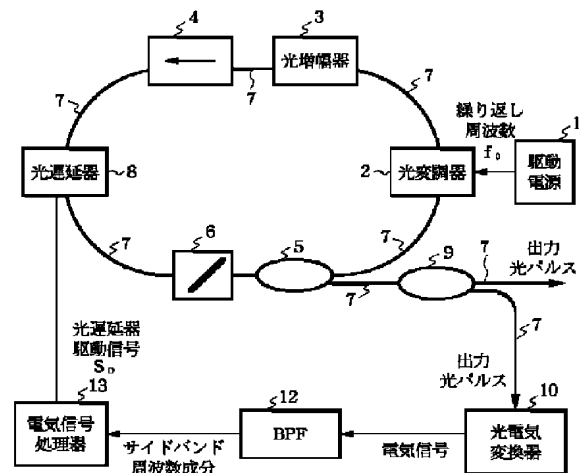
【図9】



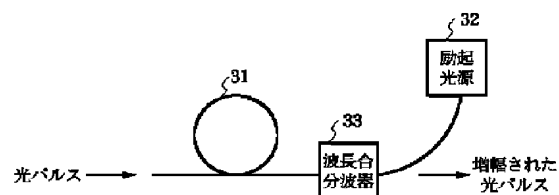
【図12】



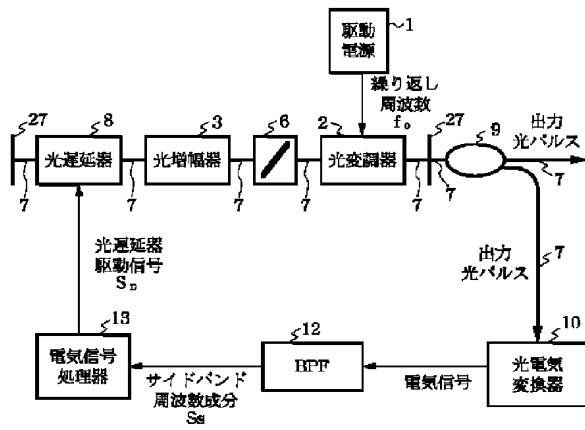
【図15】



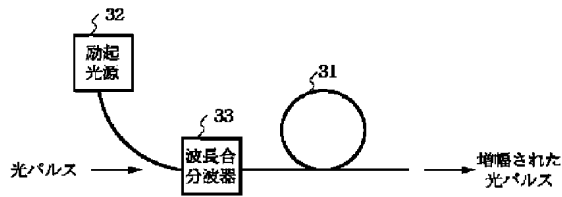
【図18】



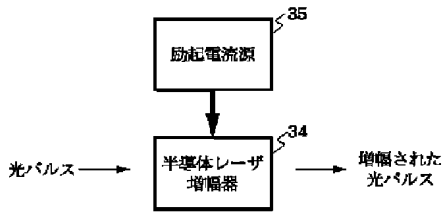
【図16】



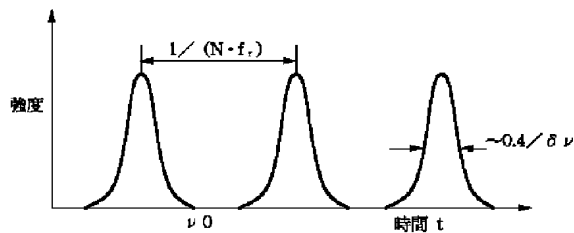
【図19】



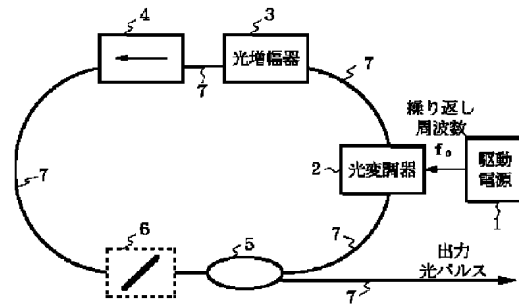
【図21】



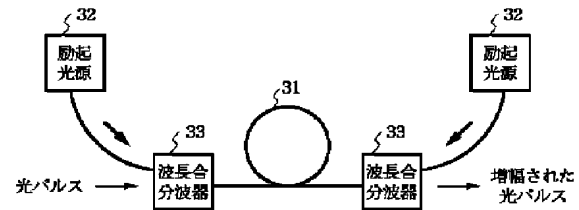
【図23】



【図17】



【図20】



【図22】

